

PRODUÇÃO E APLICAÇÃO DE CONCRETO COM ADIÇÃO DE GARRAFAS RECICLADAS DE POLIETILENO TEREFALATO (PET) EM FUNDAÇÕES

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/congea.15.24.III-053>

Christian Souza Barboza (*), Agleison Ramos Omidó, Danrvyley Christian Monteiro dos Santos, Gabriel Borges da Silva, Silvio Rodrigues da Silva Neto

*Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD. christianbarboza@ufgd.edu.br

RESUMO

A construção civil enfrenta desafios significativos em relação ao impacto ambiental gerado por suas obras, especialmente devido ao uso intensivo de recursos naturais não renováveis e à geração de resíduos. Em contrapartida, a sociedade cada vez mais consome produtos processados e envasados em embalagens de Polietileno Tereftalato (PET), gerando em muitos casos, passivos ambientais por seu descarte inadequado no meio ambiente. Nos últimos anos vários autores se dedicaram a investigar a possibilidade de incorporar os resíduos de PET em matrizes cimentícias, porém, há poucos estudos que abordam a sequência de produção e aplicação destes materiais em estruturas. Assim como o objetivo sistematizar os processos produtivos para a incorporação de flocos de PET no concreto, verificando a sua aplicação em fundações de estufas agrícolas, a presente pesquisa foi realizada por meio de uma revisão da literatura e um estudo de caso na comunidade Quilombola Dezidério Felipe de Oliveira (Dourados-MS, Brasil), onde foram avaliadas as etapas de processamento do PET, caracterização, produção do compósito gerado pela mistura de Concreto e PET, aplicação em fundações e cura. Os resultados demonstraram que os processos de adição de *flakes* de PET influenciam diretamente algumas propriedades do concreto, sendo que, a variabilidade do material e a aderência à matriz cimentícia culminam em diferentes índices de consistência e resistências finais. Conclui-se que os processos para o uso de concretos com PET reciclado orientam uma alternativa viável para fundações de estruturas de pequeno porte, alinhando-se aos princípios da economia circular e, recomenda-se a continuidade de pesquisas para aprimorar sua aplicação na construção civil.

PALAVRAS-CHAVE: Compósitos alternativos, Garrafas PET, Sustentabilidade, Construção Civil, Economia Circular.

INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos setores mais intensivos em consumo de recursos naturais e um dos maiores contribuintes para impactos ambientais significativos. Ela é responsável não só pelo elevado uso de matérias-primas não renováveis, como areia, brita e calcário, mas também pela geração de grandes volumes de resíduos e pela emissão de gases de efeito estufa, particularmente em decorrência da produção de cimento. O concreto, um dos principais materiais utilizados em obras de todos os portes, desempenha um papel crucial nessa equação. Por ser um material essencialmente baseado em cimento, agregados e água, sua produção em larga escala implica em enormes impactos ambientais, tanto em termos de exploração de recursos naturais quanto na emissão de CO₂, um dos principais gases responsáveis pelo aquecimento global (Barboza et al., 2022).

A crescente preocupação com a sustentabilidade e com os desafios ambientais, como a mudança climática, pressiona a indústria da construção civil a buscar alternativas que reduzam o impacto ambiental de suas atividades. Nesse contexto, o desenvolvimento de concretos mais sustentáveis, que sejam capazes de reduzir o consumo de matérias-primas não renováveis e as emissões de gases de efeito estufa, tem se tornado um objetivo central para pesquisadores e profissionais da área (Kim; Tae; Chae, 2016).

Em contrapartida, um dos grandes desafios ambientais da sociedade moderna está relacionado à crescente produção e descarte inadequado de resíduos plásticos. A produção mundial de plástico tem aumentado de forma exponencial, especialmente após a segunda metade do século XX (CORREA, 2015). Dentre os diferentes tipos de plásticos produzidos, o Polietileno Tereftalato (PET) se destaca por ser amplamente utilizado em garrafas e embalagens de alimentos e bebidas. Embora o PET possua a vantagem de ser reciclável, as taxas de reciclagem são, na prática, muito baixas, principalmente devido a desafios logísticos e econômicos. Como resultado, grandes quantidades de PET são descartadas de maneira inadequada, contribuindo para a poluição dos ecossistemas terrestres e aquáticos (Barboza et al., 2022).

O descarte inadequado de resíduos de PET representa um dos principais problemas ambientais da atualidade. Esses materiais, devido à sua resistência à degradação, podem permanecer no ambiente por centenas de anos, causando danos à fauna, flora e à qualidade dos recursos hídricos, além disso, a fragmentação do plástico em microplásticos constitui uma ameaça adicional, uma vez que esses pequenos fragmentos são ingeridos por organismos aquáticos, podendo entrar

na cadeia alimentar e, eventualmente, causar danos à saúde humana (CORREA, 2015). Portanto, a gestão adequada dos resíduos plásticos e a busca por novas alternativas para sua reutilização são desafios fundamentais para promover um desenvolvimento sustentável.

Nesse sentido, a incorporação de resíduos de PET no concreto surge como uma solução promissora para dois dos principais problemas ambientais: o impacto da construção civil e a gestão de resíduos plásticos. A ideia de reutilizar o PET em materiais cimentícios visa não apenas diminuir o volume de resíduos descartados inadequadamente, mas também explorar o potencial do PET para modificar o comportamento do concreto, tornando-o mais adequado para determinadas aplicações, como a redução do peso estrutural e o reforço de propriedades mecânicas específicas.

Incorporar PET ao concreto é uma maneira de alinhar a construção civil aos princípios da economia circular, integrando resíduos que seriam descartados em processos produtivos e reduzindo, assim, a necessidade de extração de novas matérias-primas. Além disso, em um contexto de crescente demanda por soluções de baixo custo para habitação e infraestrutura, especialmente em regiões de baixa renda, o desenvolvimento de materiais alternativos e sustentáveis pode oferecer uma solução viável e econômica, promovendo benefícios sociais e ambientais (Eberhardt; Birgisdóttir; Birkved, 2019).

A economia circular é um modelo econômico que visa minimizar o desperdício e maximizar o uso eficiente dos recursos. Em vez do tradicional modelo linear de "extrair, produzir e descartar", a economia circular propõe a reutilização, reciclagem e recuperação de materiais ao longo de todo o ciclo de vida dos produtos. Isso envolve práticas como design sustentável, manutenção, remanufatura e reciclagem, com o objetivo de reduzir o consumo de recursos não renováveis e minimizar o impacto ambiental. O foco é criar um sistema fechado em que os resíduos sejam vistos como recursos, promovendo a sustentabilidade e a conservação ambiental (Eberhardt; Birgisdóttir; Birkved, 2019).

O concreto é amplamente utilizado em todo o mundo por suas excelentes propriedades mecânicas, como alta resistência à compressão e durabilidade. Sua versatilidade e capacidade de ser moldado no local da construção o tornam ideal para a execução de obras de pequeno, médio e grande porte. No entanto, o concreto tem um impacto ambiental significativo devido ao consumo de cimento Portland, cuja produção é responsável por uma grande quantidade de emissões de dióxido de carbono (CO₂). Segundo Mehta e Monteiro (2014), o setor de produção de cimento é responsável por cerca de 8% das emissões globais de CO₂. Dessa forma, a incorporação de materiais reciclados, como o PET, surge como uma alternativa para reduzir o impacto ambiental da produção de concreto, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas.

O Polietileno Tereftalato (PET), amplamente utilizado na produção de garrafas e embalagens, é um polímero termoplástico caracterizado por alta resistência, leveza e durabilidade. Uma das principais vantagens do PET é sua reciclabilidade, mas, infelizmente, a taxa de reciclagem ainda é baixa em muitos países, levando ao acúmulo de resíduos plásticos em aterros sanitários e ambientes naturais (Sharma; Bansal, 2016). A incorporação de PET no concreto é uma alternativa promissora para minimizar o descarte inadequado de plásticos e, ao mesmo tempo, explorar as propriedades físicas desse material.

O PET pode ser incorporado ao concreto de várias formas, principalmente como flocos, fibras ou em sua forma original. Os flocos de PET são obtidos pela trituração de garrafas plásticas e podem atuar como agregados leves, reduzindo a densidade do concreto e tornando-o mais adequado para aplicações onde a redução de peso estrutural é desejada, ainda, a utilização de flocos de PET pode resultar em concretos mais baratos, dada a substituição parcial de agregados convencionais por um resíduo reciclado (Ochi; Okubo; Fukui, 2007). No entanto, estudos indicam que a presença de flocos de PET tende a reduzir a resistência à compressão do concreto, devido à menor aderência entre o plástico e a matriz cimentícia, resultando em uma interface menos coesa (Barreto, 2006).

Por outro lado, a adição de fibras de PET ao concreto tem se mostrado vantajosa para melhorar certas propriedades mecânicas do material, particularmente a resistência à tração e a capacidade de absorção de tensões. A presença de fibras de PET no concreto atua como um reforço, promovendo uma redistribuição das tensões e retardando a formação de fissuras (Barboza et al., 2022). Isso pode ser especialmente vantajoso em estruturas que estão sujeitas a cargas de tração, como pavimentos e elementos de fundação, onde a redução de fissuras contribui para aumentar a durabilidade da estrutura.

Além das propriedades mecânicas, a trabalhabilidade e a durabilidade do concreto são aspectos críticos a serem considerados. A trabalhabilidade, que se refere à facilidade de misturar, transportar e lançar o concreto, pode ser afetada pela presença de PET. A incorporação de plásticos geralmente aumenta a necessidade de água ou aditivos para garantir uma boa trabalhabilidade, devido à alteração na consistência da mistura (CORREA, 2015). A durabilidade, que é uma medida da capacidade do concreto de resistir a condições ambientais agressivas ao longo do tempo, também pode ser afetada pela presença de PET. A dificuldade em garantir uma boa aderência entre o PET e a matriz cimentícia cria

potenciais caminhos para a entrada de substâncias nocivas, como cloretos e sulfatos, aumentando a permeabilidade e reduzindo a durabilidade do concreto (Barboza et al., 2022).

Entre as principais variáveis a serem estudadas na incorporação de PET no concreto, destacam-se a resistência à compressão, a resistência à tração, a densidade, a trabalhabilidade e a durabilidade do material (Barboza et al., 2022). A resistência à compressão é uma das propriedades mais importantes do concreto, uma vez que determina sua capacidade de suportar cargas aplicadas, já a resistência à tração é importante, especialmente em relação à propagação de fissuras, que pode comprometer a integridade estrutural (ABNT, 2014). A introdução de fibras de PET pode contribuir para a melhoria da resistência à tração e para a redução do surgimento de fissuras, aumentando a vida útil do concreto (Rodrigues; Ribeiro; Neves Junior, 2017). A densidade do concreto é outro fator importante, pois influencia o peso da estrutura e, conseqüentemente, o dimensionamento dos elementos estruturais. A utilização de PET como agregado leve pode resultar em concretos de menor densidade, o que é vantajoso para determinadas aplicações, como lajes e painéis pré-moldados.

A interação entre o PET e a matriz cimentícia é um aspecto fundamental para a obtenção de um concreto com bom desempenho. A aderência entre o PET e a pasta de cimento depende de fatores como o tamanho e a forma das partículas de PET, o método de incorporação e o tratamento superficial aplicado ao plástico. Segundo Ochi, Okubo e Fukui (2007), tratamentos superficiais no PET, como aplicação de aditivos ou tratamentos químicos, podem melhorar a interação entre o plástico e a matriz cimentícia, resultando em um material mais coeso e com melhores propriedades mecânicas.

Embora a incorporação de PET no concreto apresente um potencial significativo para promover a sustentabilidade na construção civil, ainda existem desafios consideráveis a serem enfrentados. A variabilidade nas propriedades do PET reciclado, a falta de padronização dos processos de reciclagem e as dificuldades em adaptar práticas construtivas convencionais para a utilização de concretos com resíduos são alguns dos principais obstáculos. Além disso, a resistência à compressão do concreto pode ser comprometida, resultando em estruturas que não atendem aos padrões exigidos. Outro desafio é a necessidade de aditivos ou tratamentos químicos para melhorar a aderência entre o PET e a matriz cimentícia, o que pode aumentar os custos e a complexidade do processo. A falta de conhecimento técnico sobre o uso de materiais reciclados em grandes obras também limita sua aceitação no mercado. Portanto, é fundamental que pesquisas sejam realizadas para abordar essas questões e desenvolver diretrizes que garantam a eficácia e a segurança do concreto com PET em aplicações reais.

OBJETIVOS

Sistematizar os processos produtivos para a dosagem, mistura, lançamento e cura de concretos com a adição de flocos de PET em fundações de uma estufa agrícola.

METODOLOGIA

Este trabalho fundamenta-se, metodologicamente, na revisão da literatura sobre a produção de concretos alternativos aplicados a fundações de pequenas estruturas, com ênfase naqueles que incorporam materiais poliméricos (com o foco no Polietileno Tereftalato – PET) reciclados em sua composição, bem como nos seus processos produtivos.

De modo geral, o fluxograma esquemático das etapas metodológicas desta pesquisa está apresentado na Figura 1.

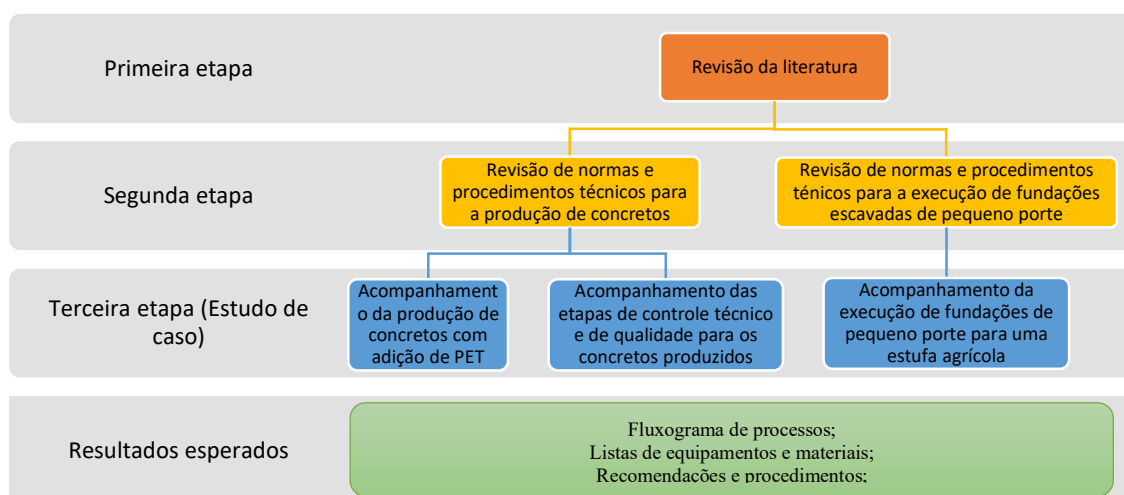


Figura 1: Fluxograma sintético das etapas metodológicas deste trabalho. Fonte: Autores do Trabalho

A primeira parte se dedicou a estudar a literatura sobre o tema, onde, as principais fontes de consulta das publicações acadêmicas sobre o tema incluem a base de dados e gerenciador de periódicos Web of Science (WOS), o mecanismo de busca virtual Google Scholar e acervos bibliográficos de universidades brasileiras.

A segunda etapa foi destinada ao levantamento de procedimentos técnicos para a execução de estruturas de concreto correntes e fundações escavadas de pequeno porte. Para esta etapa, as normas técnicas NBR 12655 (ABNT, 2015), NBR 6118 (ABNT, 2004) e NBR 6122 (ABNT, 2010) foram as norteadoras para o entendimento dos processos produtivos tanto de concretos, assim como a execução de fundações.

Na terceira, realizou-se um estudo de caso, acompanhando a execução de fundações para uma estufa agrícola (Figura 2), na comunidade Quilombola Dezidério Felipe de Oliveira, na cidade de Dourados-MS, junto ao grupo de Pesquisa e Extensão “Estruturar: Sistemas Construtivos Mais Sustentáveis” da Universidade Federal da Grande Dourados.

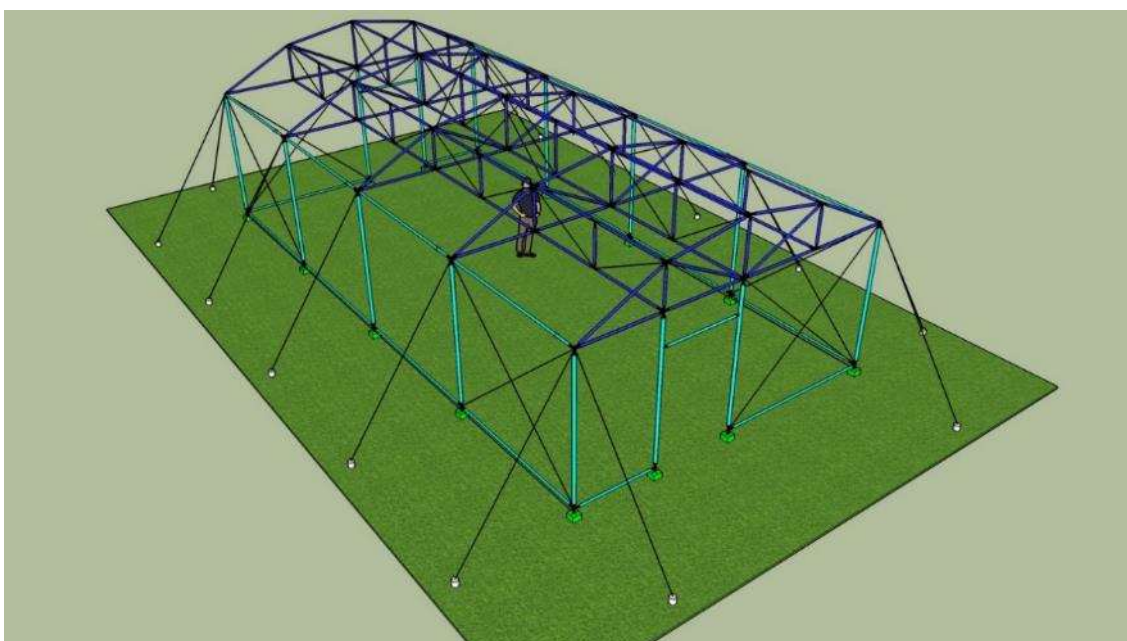


Figura 2: Maquete eletrônica da estufa em estudo. Fonte: Autores do Trabalho

A estrutura em construção (Figura 2) tem 6m de largura x 12m de comprimento x 2,30m de altura, sendo destinada a produção de mudas de hortaliças orgânicas, contribuindo para o aumento da seguridade social, econômica e ambiental na comunidade atendida. Estruturalmente, ela é construída por barras de elemento misto composto de material cimentício e Policloreto de Vinila, coberta com lona translúcida (150 micras – na cobertura) e sombrites (50% de filtragem da luz solar – nas laterais). O peso específico da estrutura é pequeno, estando sujeita à, principalmente, ações de cargas geradas por vento e demais instabilidades meteorológicas.

Por fim, na quarta etapa, foram feitos apontamentos e observações colhidos no acompanhamento da execução das estruturas de fundações da estufa em construção, assim como, o apanhado de procedimentos técnicos e recomendações normativas que culminaram nas recomendações técnicas das melhores práticas para a execução e acompanhamento das etapas mais relevantes para a utilização de concretos com a adição de *flakes de PET* em fundações de obras de pequeno porte.

RESULTADOS

Revisão de parâmetros e procedimentos técnicos

A revisão de procedimentos técnicos para a produção de concretos com a incorporação garradas PET recicladas em sua composição evidenciou que, a incorporação de garrafas PET recicladas na produção de materiais cimentícios é uma abordagem mais sustentável, que visa a reutilização de resíduos plásticos, contribuindo para a redução do impacto ambiental e proporcionando melhorias em algumas propriedades do concreto (BARBOZA et al., 2022).

Para a produção de materiais oriundos do processamento de embalagens usadas de PET, basicamente, deve-se atentar para os seguintes processos (OCHI; OKUBO; FUKUI, 2007):

- Coleta e Seleção: Coletar garrafas PET usadas, garantindo que estejam limpas e livres de contaminantes.
- Limpeza: Lavar as garrafas para remover quaisquer resíduos ou impurezas.
- Processamento: Adoção de método de transformações físicas e/ou químicas do material.

As pesquisas se concentram, majoritariamente, na produção de agregados para materiais cimentícios (concretos e argamassas de Cimento Portland) de três formas distintas, sendo a primeira focada em processar o material por meio de trituração de garrafas PET, obtendo-se pequenos fragmentos, também chamados de “flakes” de PET. A segunda, o foco é a produção de fibras tamanhos variados (SHARMA; BANSAL, 2016). E, por fim a terceira, usando o material sem grandes alterações do seu formato inicial (SANTOS, 2005).

O tamanho e a forma das partículas de PET influenciam as propriedades do concreto. Fibras finas podem melhorar a resistência à tração e a durabilidade, enquanto flocos ou partículas podem afetar a trabalhabilidade e a densidade (BARRETO et al., 2019). E, ainda, a proporção de PET reciclado deve ser cuidadosamente determinada, geralmente variando de 0,5% a 5% em volume do total de agregados (Rodrigues; Ribeiro; Neves Junior, 2017). A quantidade depende das propriedades desejadas e das especificações do projeto.

Quanto a procedimento e recomendações normativas para a realização de fundações em estacas escavadas, temos que a NBR 6122 (ABNT, 2010), estabelece que estacas são:

“Elemento de fundação profunda executado inteiramente por equipamentos ou ferramentas, sem que, em qualquer fase de sua execução, haja descida de operário. Os materiais empregados podem ser: madeira, aço, concreto pré-moldado, concreto moldado in situ ou mistos.” (ABNT, 2010, p. 03).

Ainda, segundo a ABNT (2010), para a execução de fundações de estacas escavadas há a possibilidade da execução por meio de escavação com trado manual, sendo necessariamente executado um estudo do tipo e capacidade de suporte do solo aonde se deseja executar esse tipo de fundação. Esta é uma alternativa amplamente utilizada para a edificação de estruturas de pequeno porte, especialmente aplicada às construções rurais e autoconstrução.

Estruturalmente, para estacas de pequeno porte em concreto armado, se verifica que a maior parcela resistida pela estrutura por meio de atrito lateral, principalmente em solos não colapsíveis e argilosos (SCALLET, 2011). Desta forma não, necessariamente, a busca de grandes profundidades para o alcance de parcelas de solos com maiores capacidades de suporte é fundamental para a execução deste tipo de estaca.

A NBR 6122 (ABNT, 2010) traz, em seu anexo E, as características mínimas para concretos a serem utilizados em estacas escavadas sem o uso de fluido estabilizante (Quadro 1).

Consumo de cimento	Abatimento ou Slump Test		Diâmetro máximo do agregado graúdo	Fck (resistência característica do concreto, 28 dias)
	Sem armaduras	Com armaduras		
$\geq 300\text{Kg/m}^3$	8 a 12 cm	12 a 14 cm	19mm (brita 1)	$\geq 20\text{ Mpa}$

Quadro 1: Parâmetros para o concreto. Fonte: ABNT, 2010

Procedimentos práticos

Para o presente estudo de caso, utilizou-se o concreto confeccionado nas seguintes proporções 1 : 2 : 3 (cimento : areia : brita) com a substituição de 5% em massa do agregado graúdo por *flake* de PET. A relação água/cimento inicial foi estabelecida em 0,5, porém, o controle de consistência deve ser avaliação *in loco*, por meio de ensaio de consistência pelo método de abatimento de tronco de cone (*Slump test*).

Primeiramente, para a utilização dos materiais processados de PET, é necessária a limpeza, pré corte e trituração – dando origem aos *flakes* de garrafas PET processadas.

A etapa de limpeza foi feita, utilizando-se água potável fornecida pela empresa de abastecimento público local e detergente neutro, com as embalagens ainda em sua forma inicial. Esta etapa é fundamental para eliminação de quaisquer resíduos que possam interferir na interação do material com a aglomerante, quando misturados.

A segunda etapa se dá, fazendo-se a separação do corpo das garrafas dos seus fundos e gargalo (região onde se encontram as tampas das embalagens). Este processo é fundamental para que, no processo de trituração, os *flakes* possam ser gerados em tamanhos uniformes e sem forçar as lâminas da máquina de trituração (Figura 3).



Figura 3: Etapa de pré corte das embalagens. Fonte: Autores do Trabalho

Após o pré-corte, os corpos das embalagens são levados à trituração. Nesta pesquisa utilizou-se um triturador forrageiro elétrico de 2HP de potência, configurado com peneira de 10mm. Esta etapa se mostrou satisfatória, dando origem a um material granular com dimensões regulares (Figura 4).



Figura 4: Flakes de PET gerados após a etapa de trituração. Fonte: Autores do Trabalho

Com os agregados prontos para uso, se dá a etapa de caracterização destes produtos, sendo utilizada as normas destinadas à caracterização de agregados graúdos para concreto - NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação (ABNT, 2009). Sendo verificado que os parâmetros granulométricos e de forma os mais relevantes para se avaliar o comportamento dos *flakes* gerados, pois, devem seguir as recomendações técnicas da NBR 6122 (ABNT, 2010) – Figura 5 e, ainda, estes influenciam diretamente as propriedades reológicas do material em estado fresco.

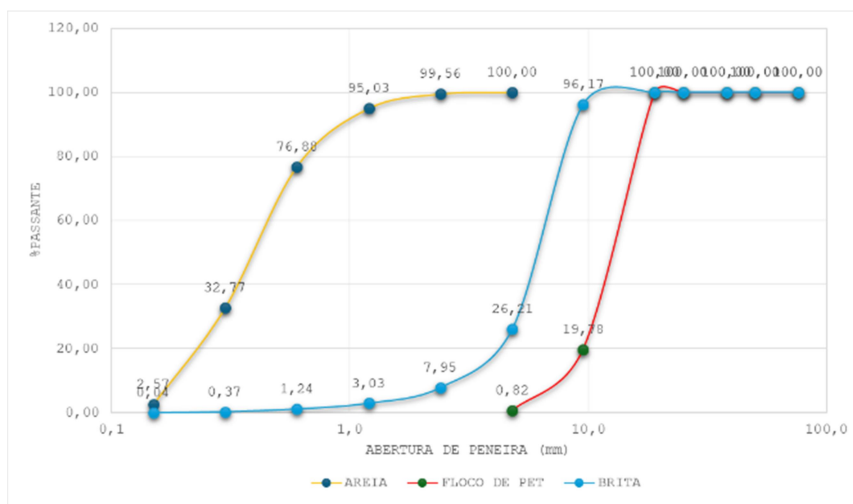


Figura 5: Curvas granulométricas dos agregados utilizados. Fonte: Autores do Trabalho

Os resultados demonstram que o agregado de flake está dentro da faixa granulométrica recomendada para o uso em fundações segundo a NBR 6122 (ABNT, 2010)

Para a mistura do material o método mais eficaz se deu, utilizando-se a técnica de mistura mecanizado por meio de betoneira de tombamento (Figura 6a), aonde, a ordem de inserção de materiais segue o encadeamento:

Preparação dos Materiais:

1. Certifique-se de que todos os materiais (agregados, cimento, água e aditivos, se necessário) estejam disponíveis e nas proporções corretas conforme a dosagem determinada.
2. Carregamento da Betoneira:
 - a. Ligar a betoneira e deixe-a girando.
 - b. Colocar uma 3/4 da água prescrita por meio do traço, na betoneira.
 - c. Adicionar parte dos agregados (brita, flake e areia) na betoneira.
 - d. Colocar o cimento após os agregados.
3. Mistura dos Materiais:
 - a. Adicionar o restante dos agregados e a água aos poucos.
 - b. A adição deve ser feita lentamente para evitar que o cimento se acumule nas laterais ou no fundo da betoneira.
4. Tempo de Mistura:
 - a. Misturar por 2 a 3 minutos após a adição completa dos materiais.
 - b. Este tempo pode variar dependendo da capacidade da betoneira e do tipo de mistura, mas deve ser suficiente para garantir que o concreto fique homogêneo.
 - c. Evitar tempos de mistura excessivos (geralmente superiores a 5 minutos), pois podem provocar a evaporação de parte da água e alterar a consistência do concreto.
5. Verificação da Consistência:
 - a. Verificar a consistência do concreto, geralmente por meio do ensaio do abatimento de tronco de cone (*slump test*), para garantir que atende ao especificado (Figura 6b).
6. Descarregamento:
 - a. O concreto deve ser descarregado imediatamente após a mistura para evitar que a mistura endureça dentro da betoneira.
7. Limpeza da Betoneira:

- a. Limpar a betoneira após o uso, evitando que o concreto se solidifique nas paredes e hélices da betoneira, o que pode dificultar misturas futuras.

Com o concreto pronto, se mapeou os processos necessários para concretagem das estruturas, sendo descritas as principais etapas conforme segue:

Lançamento de Concreto em Estacas Escavadas Manualmente

1. Preparação da escavação da estaca:

- a. O furo deve estar limpo, livre de materiais soltos ou água em excesso.
- b. Utilizar revestimentos provisórios se o solo for instável para evitar desmoronamentos durante a escavação e concretagem.

2. Lançamento do Concreto:

- a. O concreto deve ser lançado diretamente no furo. Certifique-se de que o concreto tem a consistência prevista, de acordo com o ensaio de abatimento de tronco de cone (ficando entre 12 à 14cm para estacas armadas), adequado.
- b. O lançamento deve ser feito de maneira contínua, evitando interrupções que possam criar pontos de descontinuidade na estaca.
- c. Adensamento: Utilize um vibrador de imersão para garantir que o concreto preencha completamente o furo e minimize vazios. Caso o uso de vibrador não seja possível, utilize uma barra de ferro para adensamento manual.

3. Controle durante o Lançamento (Figura 6c):

- a. Verifique o nível de concreto durante o processo para garantir que o furo esteja sendo preenchido conforme o previsto.
- b. O topo da estaca deve ser bem nivelado e pode ser finalizado após o concreto assentar.



(A)



(B)



(C)



(D)

Figura 6: Etapas da produção de estruturas de fundação com o concreto estudado. Fonte: Autores do Trabalho

O acompanhamento das resistências do concreto é feito por meio da moldagem de corpos de prova (Figura 6d) e posterior acompanhamento de resistências nas idades de 7, 14 e 28 dias, em conformidade com as recomendações normativas da NBR 12655: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento (ABNT, 2015).

Para as etapas de lançamento, adensamento e cura foi seguido as recomendações da ABNT (2010) em que, para o lançamento é adotado um funil de 1,50m de comprimento para direcionar o concreto lançado. Para o adensamento do material, em situações quando não há a possibilidade de adensadores mecânicos, se utiliza barras de aço e, neste caso, verificou-se que estas podem ser composta pela própria armadura a ser utilizada na estaca.

Por fim, deixa-se uma espera (arranque) de barra metálica que será o elemento de ligação entre os pilares da estufa e as suas fundações. Este deve seguir o alinhamento do gabarito da obra, utilizando-se para isso o prumo de centro e linhas para delimitar a sua posição correta (Figura 6c).

Para a cura do material, no período de 24h após etapa a estrutura deverá ser umedecida para que os processos de hidratação do Cimento Portland ocorram de maneira satisfatória, sendo finalizado em 28 dias.

CONCLUSÕES

Este estudo sistematizou os processos produtivos para a dosagem, mistura, lançamento e cura de concretos com adição de flocos de PET, aplicados às fundações de uma estufa agrícola. A revisão bibliográfica, o estudo de normas técnicas e o acompanhamento prático possibilitaram definir um protocolo viável para a produção desse concreto alternativo.

Os resultados demonstram que a incorporação de *flakes* de PET ao concreto é uma abordagem sustentável e tecnicamente aplicável para pequenas fundações, promovendo a reutilização de resíduos poliméricos e oferecendo benefícios teóricos, tais como, a melhoria na resistência à tração e durabilidade. No entanto, a proporção de compósitos cimentícios com a adição de PET deve ser cuidadosamente controlada para assegurar a trabalhabilidade e as propriedades mecânicas adequadas.

As etapas de processamento do PET, mistura e lançamento foram bem-sucedidas, indicando a viabilidade prática do método proposto para fundações de pequenas estruturas. Futuros estudos são recomendados para avaliar o comportamento de longo prazo e otimizar o uso de PET reciclado, contribuindo ainda mais para a sustentabilidade da construção civil em contextos rurais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro – RJ: ABNT, 2009

4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122 - Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.
5. BARBOZA, Christian Souza; OMIDO, AGLEISON RAMOS; SANTOS, Andressa Ponse; SILVA, Gabriel Borges; NASCIMENTO, Matheus R. P. **Comportamento de argamassas cimentícias reforçadas com fibras de politereftalato de etileno (PET)**. 6o Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade, [S. l.], v. 13281, p. 1–6, 2022. DOI: 10.55449/conresol.6.23.IV-050.
6. BARRETO, José Maurício Lima; DA COSTA, Heloína Nogueira; CÂNDIDO, Luis Felipe; CABRAL CORREIO, Antônio Eduardo Bezerra. **Analysis of physical and mechanical properties of pressed concrete blocks without structural purposes with additions of recycled PET**. Revista Materia, [S. l.], v. 24, n. 2, 2019. DOI: 10.1590/s1517-707620190002.0672.
7. CORREA, PRISCILA MARQUES. **Estudo comparativo da influência da adição de pet e pp pós- consumo na produção do concreto estrutural**. [s. l.], p. 101, 2015. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/130090/000976931.pdf?sequence=1>.
8. EBERHARDT, Leonora Charlotte Malabi; BIRGISDÓTTIR, Harpa; BIRKVED, Morten. Life cycle assessment of a Danish office building designed for disassembly. **Building Research and Information**, [s. l.], v. 47, n. 6, p. 666–680, 2019.
9. MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo JM. Concreto. **Microestrutura, propriedades e materiais**, v. 2, 2014.
10. KIM, Taehyoung; TAE, Sungho; CHAE, Chang U. **Analysis of Environmental Impact for Concrete Using LCA by Varying the Recycling Components , the Compressive Strength and the Admixture Material Mixing**. [s. l.], p. 1–14, 2016.
11. OCHI, T.; OKUBO, S.; FUKUI, K. **Development of recycled PET fiber and its application as concrete-reinforcing fiber**. Cement and Concrete Composites, [S. l.], v. 29, n. 6, p. 448–455, 2007. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2007.02.002.
12. RODRIGUES, P. F.; RIBEIRO, T. P.; NEVES JUNIOR, A. Caracterização Mecânica de Compósitos Cimentícios Reforçados com Fibras de Politereftalato de Etileno Espiraladas.pdf. **E&S - Engineering and science**, [s. l.], v. 1, n. 6, p. 29–37, 2017.
13. SANTOS, Deilton Braga Dos. **Estudo do uso de garrafas pet em geotecnia**. [S. l.], p. 236, 2005.
14. SCALLET, Marcella Maschietto. **Comportamento de estacas escavadas de pequeno diâmetro em solo laterítico e colapsível da região de Campinas / SP**. [S. l.], p. 164, 2011.
15. SHARMA, Raju; BANSAL, Prem Pal. Use of different forms of waste plastic in concrete - A review. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 112, p. 473–482, 2016. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.08.042. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.042>.